УДК 552.321.5

ПЕТРОЛОГИЯ РЕДКОМЕТАЛЛЬНЫХ МАГМО-РУДНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ГОРНОГО АЛТАЯ

А.И. Гусев

ФГУП «Горно-Алтайская ПСЭ». г. Бийск
E-mail: gapse@mail.biysk.ru

Редкометалльные магмо-рудно-метасоматические системы Горного Алтая парагенетически связаны с анорогенными гранитами (А-типа), которые формировались в девоне, карбоне, поздней перми-раннем триасе и ранней юре. Они генерировали жильное, грейзеновое, скарновое, редко пегматитовое оруденение вольфрама, молибдена, бериллия, тантала, ниобия, лития. Биотиты интрателлурической фазы кристаллизации гранитоидов характеризуются повышенными концентрациями Nb, Ta, Li, Rb, Be, Cs, Mo, Sn и других элементов. Определены параметры флюидного режима магматитов – фугитивности и парциальные давления кислорода, воды, углекислоты, плавиковой и соляной кислот. Наиболее перспективны магмо-рудно-метасоматические системы с открытым режимом по фтору (Калгутинская, Синюшинская, Алахинская, Каракольская, Джулалю).

Введение

Металлогеническую специфику Горного Алтая, наряду с оруденением железа, марганца, золота, серебра, кобальта, составляют месторождения бериллия, олова, вольфрама, молибдена, тантала, ниобия. Горный Алтай, являющийся составной частью полистадийной Алтае-Саянской складчатой области, характеризуется широким развитием анорогенных (А-типов) гранитоидов. Основные рубежи магмогенерации их средний девон, нижний карбон, поздняя пермь – ранний триас, нижняя юра. Возрастные датировки анализируемых гранитоидов получены, преимущественно, по результатам U-Pb и Rb-Sr методов [1, 2]. По классификации Л.В. Таусона характеризуемые магматиты относятся к агпаитовым редкометалльным гранитоидам щелочного ряда, плюмазитовым редкометалльным лейкогранитам и палингенным гранитам известково-щелочного ряда [3]. В Горном Алтае в областях развития этих гранитоидов распространено разнообразное эндогенное оруденение вольфрама, молибдена, бериллия, лития, тантала, ниобия, олова, золота.

Цель настоящей работы заключается в расшифровке петрологии редкометалльных систем с акцентом на их флюидном режиме, так как последний определяет не только общий сценарий развития магмо-рудно-метасоматических систем, но и играет решающую роль в их потенциальной рудоносности.

Петрология редкометалльных магмо-рудно-метасоматических систем

Магматизм герцинского этапа региона представлен граносиенит-гранит-лейкогранитовым турочакским (D_2t) (Турочакский, Майминский, Сумультинский ареалы), щелочным гранит-лейкогранитовым елинским (D_2e), гранодиорит-гранитовым боровлянским (D_3-C_1b) (Боровлянский, Колыванский, Поспелихинский, Аргутский ареалы) и гранит-лейкогранитовым юстыдским (C_1ju) комплексами. Оруденение тяготеет к заключительным фазам лейкогранитов и аляскитов указанных комплексов, относимых к A_1-типу гранитоидов, характерных для трансформных континентальных окраин, внутриконтинентальных рифтогенных обстановок и мантийных горячих точек. Наиболее изучен турочакский комплекс.

Петротипический Турочакский массив контролируется северо-западным правосдвиговым трансформным Бийским разломом [4] и сложен породами 5 фаз: 1) гранодиоритами, 2) адамеллитами и меланогранитами, 3) гранитами и умеренно-щелочными гранитами, 4) лейкогранитами умеренно-щелочными, 5) аляскитами. Две первые фазы роговообманково-биотитовые и биотитовые. Остальные – существенно биотитовые с редким мусковитом в заключительных дериватах. Абсолютная датировка лейкогранитов района Б. Иконостаса (U-Pb изотопным методом по циркону) составила 390±6,6 млн л.

Формирование плутона протекало при снижении давлений и температур от ранних фаз (P=3...6·10^2 МПа, и T=700...720 °C для гранодиоритов) к поздним (P=1...3·10^2 МПа, и T=575...600 °C для аляскитов). Отношения $^{87}Sr/^{86}Sr$ в породах варьируют от 0,71014 до 0,71217. На диаграмме $(Ce/5м)_N$–$(Ce)_N$ наиболее ранние гранодиориты массива попадают на кривую группового плавления первоисточника в промежутке между 1 и 2 % степени частичного плавления. Дальнейшая эволюция глубинного магматического очага происходила путем фракционирования минералов из расплава и, в первую очередь, полевых шпатов на этапе от гранодиорита до адамеллита. На заключительном этапе от лейкогранита до аляскита выявляется фракционирование циркона.

Некоторые минералы в породах весьма чувствительны на тонкие геохимические изменения, происходящие в расплавах. Нами для установления связей магматизма и оруденения проанализировано поведение рудообразующих и сопутствующих элементов в биотитах некоторых массивов. В биотитах Турочакского массива от гранитов II фазы к лейкогранитам III заметно увеличиваются концентрации Nb, Ta, Li, Rb, Be, Cs, Mo, Sn (табл. 1).

Рудогенерирующий потенциал характеризуемых гранитоидов реализован в краевой юго-восточной апикальной пологой части массива, имеющего наи-

меньший эрозионный срез. Здесь локализовано Калгазанское рудное поле и проявление Костенькин Лог, где наряду с грейзеновым развито и жильное кварц-вольфрамитовое оруденение. Двуслюдяные умеренно-щелочные лейкограниты и аляскиты этих участков характеризуются самыми высокими показателями фугитивностей кислорода и максимальными значениями отношений фугитивностей HF к HCl из всех гранитоидов Турочакского плутона.

Таблица 1. *Содержания некоторых элементов в биотитах гранитоидных массивов и даек, г/т*

Массивы, породы, фазы, количество проб	Nb	Ta	Li	Rb	Be	Zr	Cs	Mo	Sn	Cu
Турочакский Граниты II фазы, *n*=3	15	12	120	300	7	50	50	2	3	15
Лейкограниты III фазы, *n*=4	650	90	850	1200	20	140	110	14	15	15
Елиновский Лейкограниты, *n*=3	800	110	200	450	10	120	80	8	20	20
Синюшинский Меланограниты I фазы, *n*=2	15	10	100	300	5	60	60	3	2	30
Граниты II фазы, *n*=3	20	12	100	420	8	80	70	3	3	40
Лейкограниты III фазы, *n*=3	30	15	600	1500	30	100	60	15	2	30
Калгутинский Порфиров. граниты I фазы, *n*=4	20	12	100	300	10	50	50	5	2	150
Гранит-порфиры III фазы, *n*=2	35	25	120	500	20	60	50	30	3	300
Дайки онгонитов, *n*=2	150	250	1500	1450	50	80	120	10	20	20

Примечание. Анализы выполнены на микрозондовом анализаторе Camebax в лаборатории ИГЕМ РАН (г. Москва)

Несколько меньшие масштабы грейзенизации лейкогранитов проявлены на северо-западной оконечности Турочакского массива на Балыксинском участке в районе г. Синюха. Лейкограниты и аляскиты этого участка попадают в поле A1-типа оловово-вольфрамовых рудоносных гранитов. Гранитоиды Балыксы характеризуются признаками Li-F гранитов: они имеют весьма низкие температуры кристаллизации (550 °С), очень высокие фугитивности HF и максимальные кислотности пород. На участке развита грейзеновая касситеритовая минерализация.

В Калгазанском рудном поле размещение оруденения в плане относительно аляскитов V фазы турочакского комплекса зонально со сменой W на Mo в западном и юго-западном направлениях. С термодинамических позиций вектор зональности направлен в сторону нарастания щелочных свойств элементов, где перенос металлов происходил в катионной форме.

Агпаитовые редкометалльные гранитоиды (A_2-тип гранитов) объединены в елиновский комплекс (D_2e), включающий массивы: Елиновский, Аскатинский, Бутачихинский и другие [5]. Они сформированы в две фазы внедрения: 1 – рибекитовые и озанитовые граниты, 2 – лейкограниты. Это однополевошпатовые гиперсольвусные граниты со щелочными роговыми обманками и редким биотитом. Для последнего характерны высокие концентрации фтора (3,1...4,6 %), высокая железистость (74...90), низкие содержания хлора (0,03...0,1 %), магния (MgO 3,1...4,5 %). В рибекитовых гранитах Елиновского массива отношения $^{87}Sr/^{86}Sr$ составляют 0,70413...0,70429, что указывает на мантийный источник магмы. Граниты сравнительно маловодные. Характеризуются низкими температурами кристаллизации и умеренными общими давлениями ($1,0...1,5 \cdot 10^4$ кПа). От ранних к поздним фазам внедрения наблюдается значительное с нижение фугитивности кислорода и воды, заметное увеличение активности и летучести плавиковой кислоты. В биотитах лейкогранитов отмечается самое высокое содержание ниобия, а также повышенные концентрации тантала, циркония, цезия, олова (табл. 1). Среди массивов агпаитовых гранитоидов локализуются проявления олова и ниобий-редкоземельная минерализация. В экзоконтакте Аскатинского массива известны скарны с касситеритом и полиметаллами, а в метасоматически изменённых (альбититы) гранитах Елиновского массива установлено Елиновское проявление редкоземельной минерализации с флюоритом. В последнем случае отмечены поликраз, фергусонит, малакон, иттриалит.

Таблица 2. *Некоторые параметры флюидного режима гранитоидов Синюшинского массива (фугитивности и парциальные давления даны в 10^2 кПа)*

Породы и фазы	T, °С	lg fO_2	fH_2O	pH_2O	pCO_2	lg $fHF/fHCl$	$K_{вост}$	M_{HF}
Меланограниты I фазы	710	–3,8	775	910	1290	–1,85	0,15	0,232
Граниты II фазы	630	–11,1	770	910	990	–1,77	0,39	0,218
Лейкограниты III фазы	560	–14,0	600	900	600	1,39	0,42	0,381
Пегматиты	530	–15,8	570	870	530	1,46	0,43	0,532

Примечание: T, °С – температура кристаллизации; lg fO_2 – логарифм фугитивности кислорода; fH_2O – фугитивность воды; pH_2O, pCO_2 – парциальное давление воды и углекислоты; lg $fHF/fHCl$ – отношение фугитивностей плавиковой и соляной кислот; $K_{вост}$ – коэффициент восстановленности флюидов; M_{HF} – концентрация плавиковой кислоты во флюидах в моль/дм^3

Петрология Синюшинского массива гранитоидов одноименного комплекса в составе Колыванского гранитоидного плутона, в которых локализовано грейзеновое редкометалльное оруденение, весьма специфична и заслуживает более детального рассмотрения, так как свидетельтсвует о высокой потенциальной продуктивности этой магмо-рудно-метасоматической системы (МРМС), и требующей постановки поисковых работ. По химизму породы массива относятся к типу редкометалльных лейкогранитов по классификации Л.В. Таусона. Некоторые параметры флюидного режима гранитоидов этого массива сведены в табл. 2. Параметры флюидного режима вычи-

слены на основе составов биотита с учетом экспериментальных и теоретических исследований [2].

Следует отметить, что от ранних фаз к поздним происходит закономерное снижение температур кристаллизации пород, снижение летучести кислорода, фугитивностей воды, парциальных давлений воды и углекислоты во флюидах. Сами флюиды становятся всё более восстановленными, и в них происходит резкое (почти в 2 раза) увеличение концентраций плавиковой кислоты. В биотитах гранитоидов от ранней фазы к заключительной отмечается увеличение концентраций большинства редких элементов (табл. 1).

Рис. 1. *Диаграмма lg M_{HF} – температура по [6] для редкометалльных гранитоидов Горного Алтая (составлена А.И. Гусевым). Редкометалльные гранитоиды региона: 1) биотитовые граниты 1 фазы Алахинского штока, 2) сподуменовые гранит-порфиры 3 фазы, 3) сподуменовые гранит-порфиры даек, 4) лейкократовые граниты 2 фазы Алахинского штока; 5) гранит-порфиры массива Джулалю; 6) гранит-порфиры Каракольского массива; 7) лейкограниты 2 фазы Каракольского массива; 8) биотитовые порфировидные граниты 1 фазы Калгутинского массива, 9) онгониты даек, 10) гранит-порфиры Тавдушинской интрузии; 11) биотитовые гранит-порфиры 1 фазы Атуркольского массива, 12) лейкограниты 2 фазы Атуркольского массива; 13) лейкограниты Колыванского массива; 14) лейкограниты Осокинского штока из Белокурихинского массива; 15) биотитовые граниты Белокурихинского массива; 16) граниты Белокурихинского массива; 17) граниты Белокурихинского массива; 18) биотитовые граниты 1 фазы Майорского массива, 19) лейкограниты 2 фазы Майорского массива; 20) лейкограниты 2 фазы Тулатинского массива, 21) биотитовые граниты 1 фазы Тулатинского массива; 22) меланограниты 1 фазы Синюшинского массива, 23) гранит-порфиры 2 фазы Синюшинского массива, 24) лейкограниты 3 фазы Синюшинского массива, 25) пегматиты из гранитоидов Синюшинского массива; 26) низкофтористый тренд медно-молибденпорфировых систем по [6]; 27) высофтористый тренд высокопродуктивных редкометалльных гранитоидов (Этыка, Акчатау)*

Аналогичное поведение летучих компонентов отмечено и для гранитоидов Колыванского массива, расположенного рядом с Синюшинским. Гранитоиды Колыванского массива представлены несколькими обособленными в пространстве группами пород: кварцевыми диоритами, гранодиоритами, адамеллитами роговообманково-биотитовыми, гранитами лейкократовыми, биотитовыми аплитовидными [7]. Наиболее крупное тело биотитовых гранитов внутри Колыванского массива – интрузив г. Очаровательной, в грейзенизированных зонах которых обнаружены перспективные проявления редких металлов. В процессе грейзенизации гранитов происходит резкое увеличение содержаний сурьмы, иттрия, галлия, бериллия, лантана, ниобия, молибдена, олова, рубидия, цезия, вольфрама [7].

Магматические образования на Калгутинском месторождении представлены дериватами гранит-лейкогранитовой формации. Установлено, что в интенсивно фельдшатизированных биотитовых порфировидных гранитах, микрогранит-порфирах и гранит-порфирах локализовано медно-молибден-порфировое оруденение, а в районе распространения даек эльванов и онгонитов – кварцево-грейзеновое вольфрам-молибденовое. По данным уран-свинцового датирования по цирконам возраст наиболее ранних порфировых образований составляет 215...210 млн л, а ультраредкометалльных даек эльванов и онгонитов – 205...190 млн л [8]. В результате функционирования полихронной МРМС сформировалось уникальное полихронное месторождение с образованием руд различного сочетания разновозрастных этапов оруденения в различных участках рудного поля. Исторически с момента открытия (1937 г.) вольфрам-молибденовых руд месторождения основное внимание обращалось при поисках и разведке именно на жильном и грейзеновом типе оруденения. Не менее объёмному медно-молибден-порфировому типу руд и возможному телескопированию на последние жильного кварц-волфрамитового и кварцево-грейзенового оруденения с образованием комплексного оруденения не было уделено должного внимания [9].

В гранитоидах порфирового и редкометалльного комплексов определены некоторые параметры флюидного режима (табл. 3). Для порфирового комплекса Калгутинского массива от ранней фазы биоитовых порфировидных гранитов и меланогранитов к третьей фазе микрогранит-порфиров происходит заметное снижение температур кристаллизации от 670 до 540 °С. В этом же направлении отмечается снижение коэффициента восстановленности флюидов от 0,24 до 0,13 при одновременном повышении кислотности среды (коэффициент у биотита меняется от 188,3 до 190,3) и значительной относительной концентрации HF во флюидах от 0,0213 до 0,0936 моль/дм^3. Одновременно с этим происходил сдвиг в соотношениях парциальных давлений воды и углекислоты во флюидах в пользу последней. При этом наблюдается увеличение коэффициента (pH_2O+pCO_2)/pH_2O от 2,18 до 2,4, способствовавшее тому, что в микрогранит-порфирах III фазы парциальное давление углекислоты вызывало взрывной эффект и обеспечивало формирование флюидо-эксплозивных брекчий, широко распространённых в Молибденитовом Штоке и других участках распространения заключительной фазы порфирового комплекса.

В биотитах от порфировидных гранитов I фазы к гранит-порфирам III фазы закономерно возрастают концентрации Nb, Ta, Rb, Be, Mo, Cu (табл. 1).

Поздние редкометалльные дайки онгонитов и эльванов, с которыми ассоциировано жильное кварц-вольфрамитовое и кварцево-грейзеновое редкометалльное оруденение, формировались в несколько иных *P-T* условиях и параметрах флюидного режима. Температуры кристаллизации эльванов и онгонитов значительно различались (600 и 530 °С, соответственно). Фугитивность кислорода для первых была значительно выше при незначительной осцилляции соотношений парциальных давлений воды и углекислоты. Коэффициент $(pH_2O+pCO_2)/pH_2O$ несколько выше у онгонитов (табл. 3). Кислотность среды была выше при становлении онгонитов и во флюидах последних фиксируются весьма высокие концентрации плавиковой кислоты (до 1,688 моль/дм^3). В биотитах онгонитов отмечены самые высокие концентрации тантала, лития, цезия (табл. 1) и низкие содержания меди и циркония.

Температура кристаллизации грейзенов оценена в 520 °С при высоких положительных значениях фугитивности кислорода и весьма низком значении восстановленности флюидов. Последние характеризовались высокими значениями концентраций HF, намного превышающими таковые значения в гранитоидах порфирового комплекса, что и сказалось на весьма высокой продуктивности флюидов при становлении грейзенов (табл. 3). Параметры флюидного режима вычислены на основе составов биотита с учетом экспериментальных и теоретических исследований [2]. Комплексы фтора, как известно, являются одними из важнейших в переносе редких металлов во флюидах.

Таблица 3. *Параметры флюидного режима интрузивных пород Калгутинской МРМС(фугитивности и парциальные давления даны в 10^2 кПа)*

Породы и фазы	T, °С	lg fO_2	fH_2O	pH_2O	pCO_2	$K_{вос}$	y	M_{HF}	$\frac{pH_2O+pCO_2}{pH_2O}$
Порфировый комплекс Калгутинского массива									
Гранит-порфиры I фазы	670	−9,8	810	940	1110	0,24	188,3	0,0213	2,18
Гранит-порфиры II фазы	570	−10,9	750	910	1090	0,20	189,8	0,0539	2,20
Лейко-гранит-порфиры III фазы	540	−10,8	840	1010	1290	0,13	190,3	0,0936	2,40
Комплекс редкометалльных даек и грейзенов									
Онгониты	530	−12,8	760	920	1080	0,23	189,3	1,688	2,17
Эльваны	600	−2,1	700	820	930	0,22	187,6	0,0334	2,13
Грейзены	520	2,5	–	–	–	0,03	187,2	0,588	–

Примечание. lgfO_2 – логарифм фугитивности кислорода, fH_2O – фугитивность воды, pH_2O, pCO_2 – парциальные давления воды и углекислоты, соответственно, M_{HF} – концентрации плавиковой кислоты во флюидах, моль/дм^3; $K_{вос}$ – коэффициент восстановленности флюидов, у – условный потенциал ионизации биотита

На диаграмме lg M_{HF} – температура (рис. 2) породы порфирового комплекса и редкометалльных даек онгонитов и эльванов локализуются выше низкофтористого тренда известных медно-молибден-порфировых систем (Шахтама, Аксуг).

По концентрациям HF они близки к высокофтористой рекометалльной системе Акчатау в Центральном Казахстане [6]. Концентрации HF в поздних фазах порфирового и редкометалльного комплексов не снижаются, а увеличиваются, что, вероятно, связано с формирование Калгутинской МРМС в открытой системе по фтору в процессе дифференциации глубинного очага, где высокие концентрации фтора во флюидах поддерживались потоком богатого фтором флюида, возможно мантийного происхождения (трансмагматических).

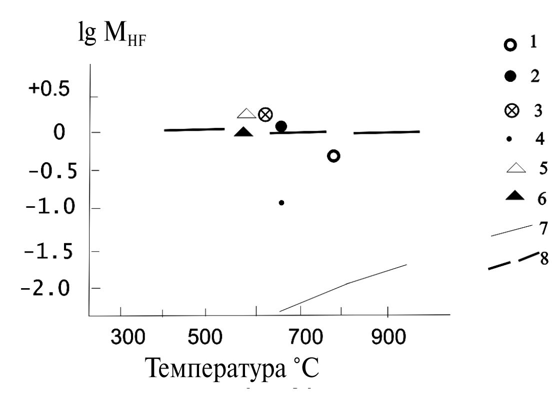


Рис. 2. *Диаграмма lg M_{HF} – температура, °С, по [6] для пород Калгутинской МРМС: 1) гранит-порфиры 1 фазы, 2) гранит-порфиры 2 фазы, 3) лейкогранит-порфиры 3 фазы; дайки: 4) эльванов, 5) онгонитов; 6) грейзены; 7) низкофтористый тренд медно-молибден-порфировых систем Аксуг, Шахтама по [6]; 8) высокофтористый тренд редкометалльных систем Этыки, Акчатау по [6]*

Следует обратить внимание, что лейкограниты 3 фазы и дайки онгонитов, располагаются выше высокофтористого тренда высокопродуктивных на редкометалльное оруденение систем Этыки и Акчатау (рис. 2).

Интерпретация результатов и выводы

Широкое развитие анорогенных гранитоидов в Горном Алтае на значительном временном интервале указывает на специфические геодинамические условия магмо- и рудогенерации в регионе.

Анализ распределения элементов в биотитах интрателлурической фазы кристаллизации гранитоидов показывает их обогащённость на свои отличающиеся спектры. При этом коэффициент концентрации молибдена в биотитах лейкогранитов Турочакского, Синюшинского массивов превышает 3, а гранит-порфиров Калгутинского массива – 7 (при минеральном кларке – 4) [10]. Гранит-порфиры Калгутинского массива характеризуются и самыми высокими содержаниями меди в слюде (табл. 1). Таким образом, гранит-порфиры указанного массива явно характеризуются специализацией на молибден и медь, что свойственно порфировым системам.

Лейкограниты остальных массивов и дайки онгонитов Калгутинской МРМС отличаются более высокими концентрациями таких элементов, как Nb, Ta, Li, Rb, Be, Cs, Sn, что свойственно редкометалльным системам. Коэффициенты концентрации ниобия для биотитов лейкогранитов Турочакского и Елиновского массивов составляют более 3 и 4, соотвественно, а тантала тех же массивов 4,5 и 5,5, даек онгонитов Калгутинской МРМС – 12,5. По бериллию коэффициент концентрации для биотитов лейкогранитовТурочакского массива составляет 2,5, Синюшинского – 3,75, даек онгонитов Калгутинской МРМС – 6,25. Следовательно, интрателлурическая фаза лейкогранитов анализируемых массивов геохимически специализирована на ниобий, тантал, бериллий, в меньшей степени на цезий, литий, молибден. Геохимическая специализация массивов реализуется и в металлогенической на те же элементы с образованием месторождений и проявлений различных геолого-промышленных типов (грейзенов, пегматитов, скарнов).

Летучие компоненты, такие как фтор, закономерно увеличиваются в поздних фазах Синюшинского, Колыванского, Калгутинского массивов. Такое поведение фтора во флюидах от ранних к поздним фазам становления массивов указывает на то, что системы были открытыми по фтору. Последний привносился глубинными потоками в систему, что характерно для высокопродуктивных лейкогранитов на редкометалльное и порфировое оруденение. Аналогичное поведение фтора отмечено для высокопродуктвных акчатаусских лейкогранитов (вольфрамовое месторождение Акчатау в Казахстане) [6]. Подток более восстановленных флюидов при становлении лейкогранитов заключительной фазы Синюшинского массива (табл. 2) особенно показателен и указывает на мантийную природу трансмагматических флюидов.

Наиболее благоприятные условия для экстенсивного рудообразования характерны для магморудно-метасоматических систем, открытых по режиму фтора (Калгутинская, Алахинская, Джулалю, Каракольская, Синюшинская МРМС).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Владимиров А.Г., Пономарёва А.П., Шокальский С.П. и др. Позднепалеозойский-раннемезозойский гранитоидный магматизм Алтая // Геология и геофизика. – 1997. – Т. 38. – № 4. – С. 715–729.
2. Гусев А.И. Металлогения золота Горного Алтая и южной части Горной Шории. – Томск: STT, 2003. – 308 с.
3. Таусон Л.В. Геохимические типы и потенциальная рудоносность гранитоидов. – М.: Наука, 1977. – 280 с.
4. Гусев А.И. Металлогения коренного золота Горного Алтая // Золото Алтая: история и современность: Матер. Регион. научно-практ. конф. – Барнаул: Алтайский ун-т, 1995. – С. 141–146.
5. Гусев А.И. Геодинамика и металлогения мезозойского этапа Горного Алтая // Проблемы геодинамики и минерагении Южной Сибири / Под ред. В.И. Парначева. – Томск, 2000. – С. 53–61.
6. Аксюк А.М. Экспериментально обоснованные геофториметры и режим фтора в гранитных флюидах // Петрология. – 2002. – Т. 10. – № 6. – С. 630–644.
7. Бутенко В.А. Геолого-геохимическая модель процесса грейзенизации гранитов с W-Mo оруденением // Прикладная геохимия. Вып. 3. Прогноз и поиски. – М.: ИМГРЭ, 2002. – С. 116–133.
8. Анникова И.Ю., Владимиров А.Г., Выставной С.А. и др. Калгутинский редкометалльно-гранитный массив (Горный Алтай): геодинамическая позиция, глубинная морфология, изотопный возраст // Петрология магматических и метаморфических комплексов. Вып. 3. – Томск, 2002. – Т. 1. – С. 10–15.
9. Семенцов Г.Б. Новая геолого-геофизическая модель Калгутинского месторождения (Горный Алтай) // Минерально-сырьевая база Республики Алтай: состояние и перспективы развития. – Горно-Алтайск, 1998. – С. 42–43.
10. Иванов В.В., Белевитин В.В., Борисенко Л.Ф. и др. Средние содержания элементов-примесей в минералах. – М.: Недра, 1973. – 208 с.